



Facultad de Ingeniería

Trabajo de Investigación

**“Diseño de un sistema robótico para la
clasificación automatizada de espárragos
empleando visión artificial por imágenes”**

Autores:

Antayhua Yallicuna, Kenny - 1331057

Gamarra Trinidad, Arturo – 1421461

Para obtener el Grado de Bachiller en:

Ingeniería Mecatrónica

Asesor(es): Paul Ángel Montoya Tufinio

Lima, diciembre de 2018

RESUMEN

Se sabe que la clasificación de frutos en la industria agrícola peruana aún se realiza de manera muy rudimentaria, en especial, si se trata de productos de exportación que generan gran ingreso de divisas; por ello, el trabajo de investigación dio una solución eficaz para la clasificación automatizada de espárragos por medio de la integración de un sistema robótico, procesamiento de imágenes y redes neuronales artificiales. Para dicho propósito se adquirieron imágenes de dicha hortaliza que sirvieron de entrada a un algoritmo basado en redes neuronales previamente entrenado con características de tamaño y color que permitan la clasificación mediante el software Matlab. Posteriormente, se procedió al diseño del sistema robótico, cámara web, dispositivos electrónicos, etc. Por otro lado, un controlador fue la intermediaria en la comunicación del algoritmo y el actuador que realizó la clasificación de espárragos. Finalmente, se obtuvo un porcentaje de acierto del 97.5% de la red neuronal para la clasificación de espárragos con lo cual se concluyó que la visión artificial es una solución óptima para aumentar la productividad de la industria agroexportadora.

DEDICATORIA

A nuestros padres, que confiaron en nosotros desde que empezamos la carrera y su incondicional apoyo a lo largo de toda la etapa formativa que tuvimos.

A nuestras nuestros amigos y profesores que nos acompañaron a lo largo de este trayecto brindándonos sus consejos y buenos momentos.

AGRADECIMIENTO

Gracias a nuestros padres por brindarnos el apoyo día a día y transmitirnos los valores y enseñanzas que nos hacen ser mejores personas en la vida.

Gracias a la vida por darnos la oportunidad de encontrar la felicidad haciendo lo que nos gusta y la esperanza de tener un mejor futuro.

Declaración de Autenticidad y No Plagio (Grado Académico de Bachiller)

Por el presente documento, yo Kenny Alfonso Antayhua Yallicuna, identificado/a con DNI N° 72971335, egresado de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, informo que he elaborado el Trabajo de Investigación denominado "Diseño de un sistema robótico para la clasificación automatizada de espárragos empleando visión artificial por imágenes", para optar por el Grado Académico de Bachiller en la carrera de Ingeniería Mecatrónica declaro que este trabajo ha sido desarrollado íntegramente por el/los autores/es que lo suscribe/n y afirmo que no existe plagio de ninguna naturaleza. Así mismo, dejo constancia de que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo, por lo que no se ha asumido como propias las ideas vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos como en Internet.

Así mismo, afirmo que soy responsable solidario de todo su contenido y asumo, como autor, las consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el documento. Sé que este compromiso de autenticidad y no plagio puede tener connotaciones éticas y legales. Por ello, en caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine la Universidad Tecnológica del Perú y a lo estipulado en el Reglamento de SUNEDU.

Martes, 11 de diciembre de 2018.

.....
(firma)

Declaración de Autenticidad y No Plagio (Grado Académico de Bachiller)

Por el presente documento, yo Arturo Rolando Gamarra Trinidad, identificado/a con DNI N° 46482226, egresado de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, informo que he elaborado el Trabajo de Investigación denominado "Diseño de un sistema robótico para la clasificación automatizada de espárragos empleando visión artificial por imágenes", para optar por el Grado Académico de Bachiller en la carrera de Ingeniería Mecatrónica declaro que este trabajo ha sido desarrollado íntegramente por el/los autores/es que lo suscribe/n y afirmo que no existe plagio de ninguna naturaleza. Así mismo, dejo constancia de que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo, por lo que no se ha asumido como propias las ideas vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos como en Internet.

Así mismo, afirmo que soy responsable solidario de todo su contenido y asumo, como autor, las consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el documento. Sé que este compromiso de autenticidad y no plagio puede tener connotaciones éticas y legales. Por ello, en caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine la Universidad Tecnológica del Perú y a lo estipulado en el Reglamento de SUNEDU.

 Martes , 11 de diciembre de 2018.

.....
(firma)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO 1.....	11
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
11.1. Planteamiento del problema	11
11.2. Objetivos de la investigación.....	12
11.2.1. Objetivo general	12
11.2.2. Objetivos específicos.....	12
11.3. Alcance de la investigación	12
CAPÍTULO 2	13
MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Problemas similares y análisis de soluciones empleadas	13
CAPÍTULO 3	16
PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.....	16
3.1 Adquisición de la imagen	17
3.2 Procesamiento de la imagen.....	17
3.3 Reconocimiento.....	18
3.4 Redes neuronales artificiales	19
3.5 Robot de 4 grados de libertad.....	20
3.6 Hipótesis.....	24
3.7 Tipo de investigación	24
3.8 Nivel de investigación	24
3.9 Muestra y muestreo	24
CAPÍTULO 4.....	25
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	25
CONCLUSIONES	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema clasificador de espárragos.....	17
Figura 2: Algoritmo de clasificación.....	18
Figura 3: Arquitectura de una red neuronal de 3 capas.....	20
Figura 4: Diagrama de bloques para el movimiento del robot.....	21
Figura 5: Diagrama esquemático del robot de 4GL.....	22
Figura 6: Diagrama cinemático del robot de 4 GL.....	23
Figura 7: Movimiento del robot sobre el eje X.....	26
Figura 8: Movimiento del robot sobre el eje Y.....	26
Figura 9: Movimiento del manipulador sobre el eje Z.....	27
Figura 10: Reciento para la adquisición de la imagen.....	28
Figura 11: Captura de la imagen del esparrago.....	28
Figura 12: Imagen binarizada del esparrago.....	29
Figura 13: Características de tamaño de la imagen del esparrago.....	29
Figura 14: Arquitectura de la red neuronal artificial.....	31
Figura 15: Matriz de confusión de la red neuronal.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales productos no tradicionales exportados en abril 2018.....	9
Tabla 2: Valores de las características de tamaño	30

INTRODUCCIÓN

En el contexto nacional, el sector agrícola es una actividad primordial que aporta al crecimiento económico del país, generando divisas y empleo sostenible, es así que dicho sector aportó con el 5.2% del PBI (Producto Bruto Interno) en el 2015, registrando crecimiento continuo durante los últimos 15 años. El espárrago se encuentra en el cuarto puesto de producto agropecuario de exportación no tradicional y a nivel mundial es considerado el mayor exportador de dicha hortaliza alcanzando la suma de \$ 571 millones de dólares en exportación destinados a EE. UU y España, principalmente. [1]

Sector económico	(Millones de US\$ de 2007)		Variación porcentual	
	Jul. 17	Jul. 18	Jul. 18/Jul. 17	Ene-Jul.18/ Ene-Jul. 17
Agropecuaria				
Paltas	90.1	89.7	-0.5	17.7
Otros cítricos	33.5	36.4	8.7	23.1
Espárragos	35.9	30.4	-15.5	7.3

Tabla 1: Principales productos no tradicionales

Exportados en abril 2018

Fuente: [1]

En abril de 2018, el número de exportaciones de productos no tradicionales aumentó en 27,5% respecto a abril del 2017, manteniendo un crecimiento constante. El número de exportaciones del sector agropecuario aumentó en 29.5% destacando el número de ventas de productos agrícolas como las paltas, mangos, mangostanes, espárragos y plátanos [1].

La capacidad de percepción del ser humano del entorno que lo rodea es muy limitada. En particular, si se requiere obtener información sobre características de color, forma y tamaño el sentido de la visión humana no es suficiente. El alcance de la visión solo puede abarcar un pequeño tramo del espectro electromagnético (EM), la banda visible, comprendida entre los 400 y 700nm. Motivo por el cual surge la necesidad de implementar dispositivos y sistemas inteligentes capaces de percibir señales que la vista no detecte. La visión por computador o visión artificial, rama de la inteligencia artificial, es un sistema que emula el proceso de visión a través del análisis e interpretación de objetos previamente adquiridos mediante imágenes digitales [2].

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El Perú es uno de los primeros exportadores de espárragos frescos a nivel mundial, debido a que cuenta con el clima propicio y suelos fértiles para el sembrío de dicha hortaliza destacando su alto nivel de calidad de producto. No obstante, la competitividad de los países exportadores de espárragos aumenta cada año entonces se generan técnicas de clasificación automatizada que el Perú aún no desarrolla. El propósito de esta investigación es mejorar la clasificación de espárragos de la industria peruana utilizando un sistema robótico que sea capaz de identificar la categoría a la que pertenece cada espárrago teniendo en cuenta una serie de características, como por ejemplo el color y el tamaño, y depositarlo en su categoría correspondiente. [3]

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

- Diseño de un sistema robótico para la clasificación automatizada de espárragos empleando visión artificial por imágenes

1.2.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un algoritmo basado en procesamiento digital de imágenes y redes neuronales que permita la clasificación de espárragos
- Diseñar el sistema robótico que realice la clasificación de espárragos
- Diseñar la unidad de control que integre el algoritmo clasificador con el actuador del sistema

1.3. Alcance de la investigación

Se diseñará un sistema robótico capaz de clasificar espárragos de manera automática empleando técnicas de visión artificial y redes neuronales. Para el sistema robótico se implantará un robot más adecuado para dicho caso, es decir, se escogerá las características ya establecidas de un fabricante. Dichas características serán: área de trabajo, grados de libertad, velocidad y aceleración nominal, fuerza de agarre y carga máxima, tipo de accionamiento y comunicaciones. El controlador será adquirido también del propio proveedor. Mientras que para el sistema de visión artificial solo se considerará como hardware una cámara de celular y para la parte de software se empleará el programa Matlab para generar los algoritmos en una PC que lleven a cabo el proceso de clasificación del espárrago, el cual será por calibre: bajo entre 17cm a 27cm y alto entre 12cm a 17cm. El recinto donde se llevará a cabo todo el proceso de clasificación será alumbrado con luz blanca y no se contemplará los ruidos externos que se puedan producir.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Problemas similares y análisis de soluciones empleadas

Las técnicas de procesamiento de imágenes empleadas en las industrias automatizadas agrícolas requieren de la combinación con sistemas robóticos para su máxima eficiencia ya que reemplazan el trabajo manual tedioso y susceptible a errores de percepción humana; es decir, surge una nueva alternativa de inspección y manipulación de productos de forma segura y rentable que según Viera, expone:

“Las ventajas de emplear sistemas automatizados en la agroindustria soso una mayor productividad, bajo costo, mejor inspección en la calidad y objetiva, y la capacidad para el almacenamiento de datos”. [15]

Esta última ventaja puede ser aprovechada para generar registro de productos y aplicar una mejora continua de los mismos. No obstante, el propio Viera advierte alguna desventaja que es necesario considerar:

“ Las desventajas de trabajar con sistemas de visión máquina son que algunos objetos son difíciles de separar entre el fondo y sobre todo la iluminación ofrecida a la cámara”. [15]

Una solución ante la desventaja planteada es la aplicación de filtros y el uso adecuado de la segmentación de imágenes acompañado con una iluminación continua en un recinto cerrado libre de perturbaciones. [4]

Este problema lo encontraron Garcia, Mirasso, Storti y Tornello al tratar de clasificar frutos por calibre, color y tamaño se dieron cuenta además de enfrentarse al brillo y sombras que presentan los frutos había un trabajo repetitivo de inspección visual por parte de los trabajadores que hasta los más experimentados podría acarrear errores y con esto perjuicio económico a la empresa. [16]

Por su parte, Froilán y Huerta [17] desarrollaron un sistema para detectar imperfecciones en el mango que los mercados de Estados Unidos y Europa rechazan. De igual forma, los autores Romero, Martín y Jiménez [14] mencionaron en la revista UIS ingenierías que los sistemas de visión artificial permiten la realimentación de datos para llevar un índice de daños en los magos así poder detectarlos y descartarlos.

En la investigación “Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot” llevada a cabo por Sobrado y Tafur se implementó un

sistema automatizado capaz de detectar objetos por medio de un sistema visión máquina que a través del accionamiento de un robot de 5GDL realice tareas de traslado de objetos. [18]

En el artículo realizado por Contreras, Peña y Riaño [19] sobre “Módulo robótico para la clasificación de lulos implementando visión artificial” se detalló el diseño e implementación de un clasificador de lulos cuyo funcionamiento se debe al accionamiento de un brazo robótico de 5 GDL que selecciona lulos de acuerdo al tamaño, color e imperfecciones en el fruto. Esto mediante la integración de control, visión artificial y robótica. Se desarrolló, en primer lugar, el diseño CAD del módulo robótico para así determinar los aspectos mecánicos también la cinemática del brazo. Seguidamente, se implementó los algoritmos basado en técnicas de visión artificial que sirvan para la selección y permita el control del brazo robótico.

En la investigación que realizó Acero [4] sobre “Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy” se presentó una aplicación de visión artificial que consistía en clasificar mangos de variedad tipo Tommy mediante el tamaño y color para lo cual se utilizó una cámara web que capturó las imágenes de 3 mangos como máximo que luego fueron procesadas en una computadora por medio de la caja de herramientas de procesamiento de imágenes del software Matlab empleando los métodos de binarización, umbralización y segmentación de imágenes para posteriormente extraer sus características y finalmente servir de entrada para el entrenamiento de la red neuronal también del aprendizaje dando como resultado gráficos de toma de decisión de la red.

CAPÍTULO 3

PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Para el diseño del clasificador de espárragos se empleó la integración de 2 sistemas: El de software y el de hardware. En el primero se incluyeron los algoritmos de clasificación basados en el procesamiento de imágenes y redes neuronales para generar la distinción y toma decisión en la clasificación; mientras que, en el segundo se implementó una cámara para la adquisición de las imágenes de espárragos, un sensor para la detección de los mismos, una PC para el procesamiento de las imágenes, un microcontrolador para el control del sistema y un brazo robótico para que desplace los espárragos clasificados y los deposite en su categoría correspondiente.

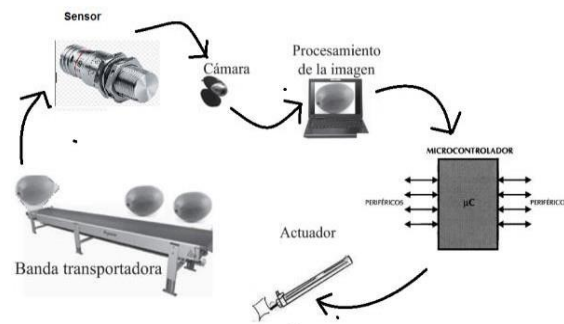


Figura 1: Sistema clasificador de espárragos

Fuente: [14]

3.1 Adquisición de la imagen

De esta etapa depende el acierto en mayor o menor medida de la clasificación pues representa la entrada para el procesamiento de la imagen. Realizar una buena captura de imagen implica considerar las características de la cámara: resolución, envío de datos y el tipo de iluminación. Estos requisitos mencionados son proporcionados mediante los comandos del software Matlab que ofrece un entorno de visualización de la imagen capturada. Además, el espacio de captura de la imagen(recinto) debe estar libre de ruido externo, es decir, un lugar cerrado de luz fija e intermitente [3].

3.2 Procesamiento de la imagen

Tras adquirir la imagen obtenida en el modelo RGB se continúa con el análisis mediante la toolbox de Matlab, la cual convierte dicho formato en escala de grises y se aplica un filtro digital para eliminar el ruido de la imagen. También se utiliza algunos operadores morfológicos como la dilatación y erosión para posteriormente trabajar la segmentación de la imagen y obtener una imagen binarizada.

3.3 **Reconocimiento**

Luego del procesamiento de la imagen se procede a la etapa de la toma de decisiones para cada espárrago. Para esta etapa se considera la segmentación de la imagen del espárrago debido a que se tiene que separar el objeto del fondo (limitar la región de interés) para extraer características únicamente del espárrago. Los descriptores de tamaño a considerar para la clasificación de espárragos por calibre son el área, el perímetro y la longitud de eje mayor y menor; las características mencionadas se obtienen mediante el comando “regionprops” de Matlab y para la toma de decisiones se utilizará las redes neuronales artificiales.

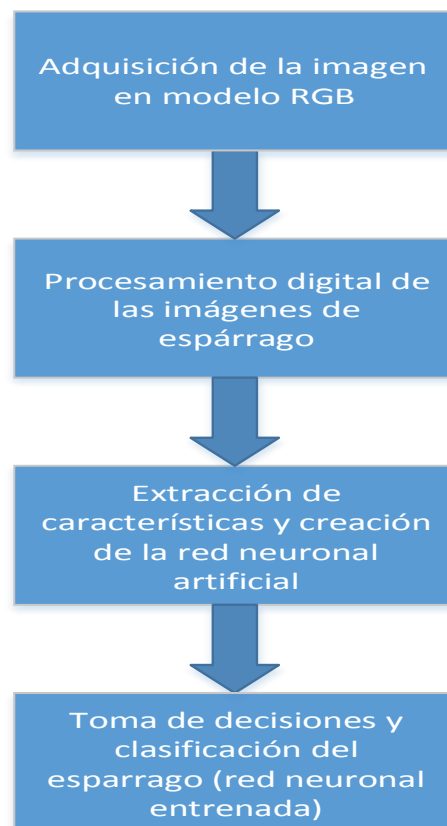


Figura 2: Algoritmo de clasificación
Fuente: [6]

3.4 Redes neuronales artificiales

Forman parte de la inteligencia artificial y funcionan con el mismo principio de una neurona biológica la cual tiene como característica fundamental la capacidad de aprendizaje. [8].

Según [9], la forma de comunicación entre neuronas se expresa mediante las múltiples conexiones entre ellas las cuales establecen un peso sináptico que es actualizado continuamente en la etapa de aprendizaje para luego pasar a generalizar cualquier entrada que se quiera obtener como salida deseada (ver Figura 3).

El modelamiento matemático (ver ecuación 1) de una red neuronal artificial queda expresado por la siguiente ecuación [8]:

$$Y = (f_2(f_1(X * w_1) * w_2)) \quad (1)$$

donde:

X = Matriz de entrada a la red neuronal

Y = Matriz de salida de la red neuronal

f_1 = Función de activación de la capa oculta

w_1 = Matriz de pesos sinápticos de la capa oculta

f_2 = Función de activación de la capa de salida

w_2 = Matriz de pesos sinápticos de la capa de salida

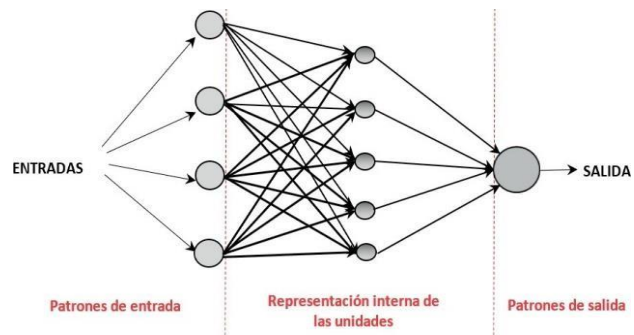


Figura 3: Arquitectura de una red neuronal de 3 capas

Fuente: [8]

La calidad y cantidad de las características extraídas influye en la toma de decisión de la red y así evitar errores propios antes de modificar otros aspectos de entrada [10]. Según [11], los datos de entrada de una red neuronal se agrupan de la siguiente manera: muestras para el entrenamiento, validación y prueba.

3.5 Robot de 4 grados de libertad

Por otra parte, es importante hallar la cinemática directa e inversa del robot, pero previamente es necesario establecer la relación del sistema según muestra la figura 4

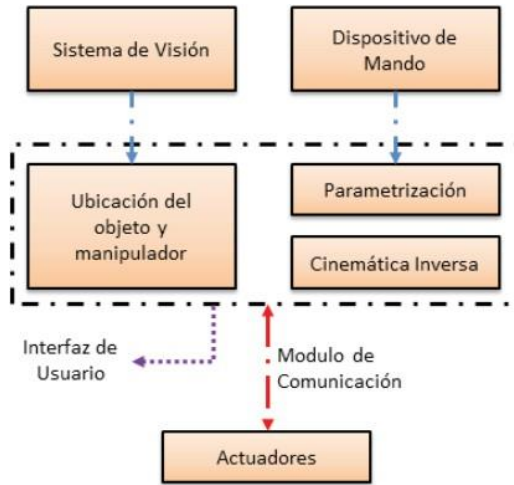


Figura 4. Diagrama de bloques para el movimiento del brazo robótico
Fuente [12]

Para el cálculo de la cinemática directa del efector final del robot se empleó el algoritmo de Devanit-Hartenberg, mediante el cual se relaciona la cadena de eslabones desde la base del robot hacia el efector final por matrices de transformación homogénea de traslación o rotación. [12]

La transformación que experimenta cada articulación viene dada por la ecuación 2

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Mientras la transformación total que experimenta la base del robot hasta el griper lo muestra la ecuación 2.

$$A_n^0 = \prod_{i=1}^n A_i^{i-1} \quad (3)$$

Para el caso de un robot de 4GL como se muestra en la figura 5. Se hallan los parámetros DH como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros DH para el robot de 4GL

Parámetro	Θ	d	a	α
1	θ_1	l_1	0	$\pi/2$
2	θ_2	0	l_2	0
3	θ_3	0	0	$-\pi/2$
4	θ_4	l_3	0	0

Fuente [12]

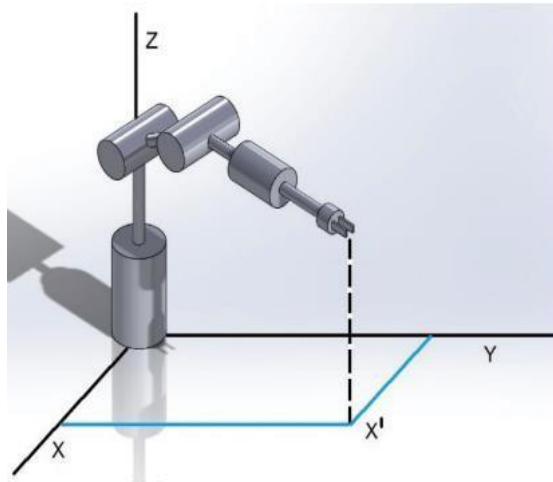


Figura 5. Diagrama esquemático del robot de 4GL

Fuente [12]

Posteriormente queda listo para hallar el cálculo cinemático inverso de la figura 6.

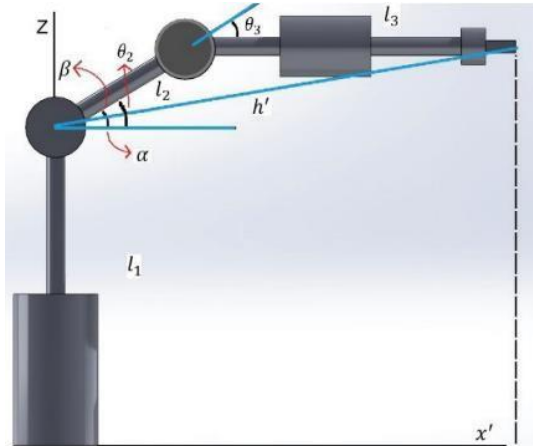


Figura 6. Diagrama cinemático del robot de 4GL
Fuente [12]

Desarrollando mediante procedimientos geométricos, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\theta_1 = \text{Atan2}(y, x) \quad (4)$$

$$X' = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (5)$$

$$\alpha = \text{Atan2}(z - l_1, X') \quad (6)$$

$$h' = \sqrt{X'^2 + (z - l_1)^2} \quad (7)$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{h'^2 + l_2^2 - l_3^2}{2 \times h' \times l_2} \quad (8)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{l_3^2 + l_2^2 - h'^2}{2 \times l_3 \times l_2} \quad (9)$$

$$\theta_2 = \alpha - \beta \quad (10)$$

$$\theta_3 = \pi - \gamma \quad (11)$$

Siendo θ_i : Coordenadas articulares

α : Ángulo de Euler en Z

β : Ángulo de Euler en X

γ : Ángulo de Euler en Y

3.6 Hipótesis

Se considera la mejor alternativa para la clasificación automatizada de espárragos la aplicación de un sistema robótico con inteligencia artificial en la industria de agroexportación peruana.

3.7 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental debido a que se manipula una variable o varias en simultáneo en un ambiente estrictamente controlado por el investigador para evaluar las causas y consecuencias de los resultados, y verificar determinadas hipótesis.

3.8 Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo-comparativo porque se examina las características del tema a investigar, se definen y formulan hipótesis, se selecciona las técnicas para la recolección de datos y las fuentes a consultar. Por último, previo a la descripción del problema y la clasificación de los resultados se compara la calidad de los espárragos clasificados.

3.9 Muestra y muestreo

En la presente investigación se trabajó con una muestra de 40 imágenes de espárragos, las cuales son clasificadas de acuerdo tamaño con un muestreo no probabilístico por cuotas porque se tiene conocimiento de los espárragos más representativos para los fines de la investigación.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El resultado de la posición final y las trayectorias del brazo robótico se muestran a continuación. Se observa que el error tiende a cero a medida que el robot se acerca a la posición final. Luego de realizar la comparación entre los valores reales del brazo robótico y la posición final con los valores de distancia obtenidas del software se determinó que el error absoluto es menor al 10 % en el instante que el manipulador se aproxima a la posición final de la trayectoria. Dicho error es frecuentemente ocasionado por la sensibilidad del sistema como también por la resolución de la cámara.

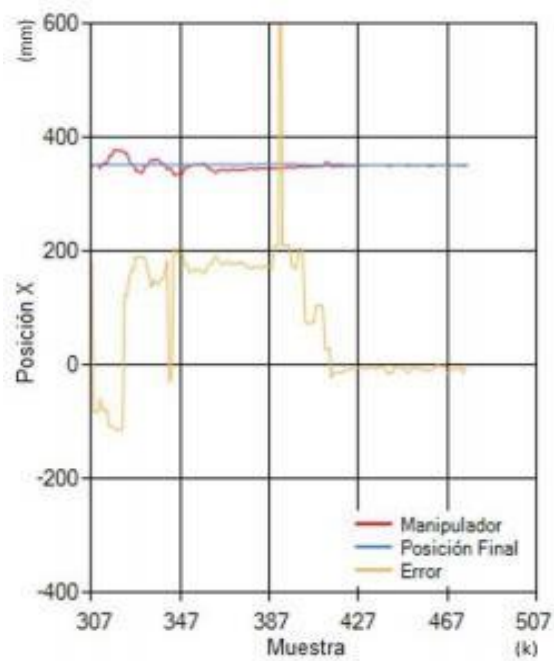


Figura 7: Movimiento del robot sobre el eje X

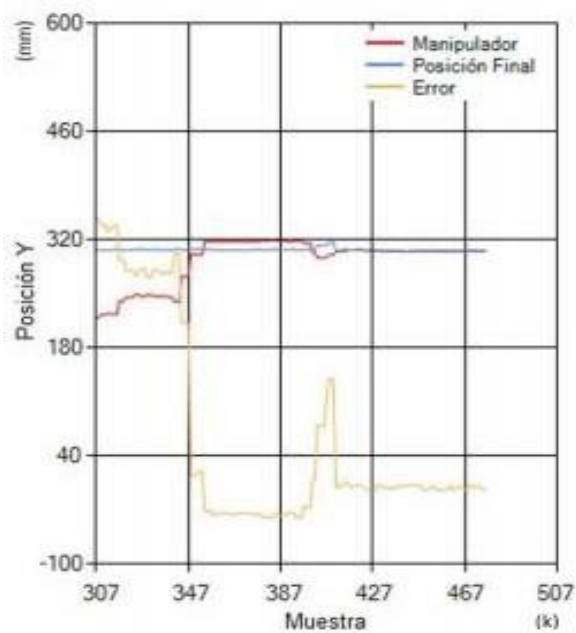


Figura 8: Movimiento del robot sobre el eje Y

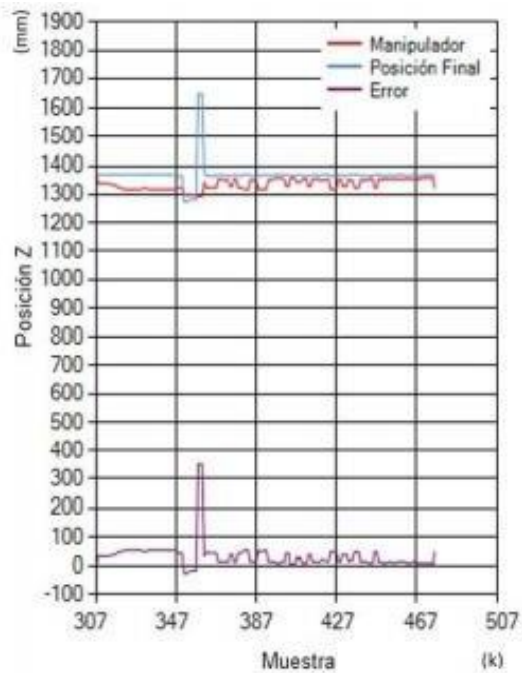


Figura 9: Movimiento del manipulador sobre el eje Z

Para la adquisición de las imágenes del espárrago se utilizó el siguiente recinto, ver figura 10, la cual tiene las siguientes dimensiones: 30cm de largo, 12cm de ancho y 30cm de altura. Se capturó 40 espárragos (20 pequeños y 20 grandes) cuyo promedio de longitud es 15cm.



Figura 10: Recinto para la adquisición de imagen

Para la captura de la imagen de los espárragos se utilizó una cámara de un celular Motorola G5, con ayuda de la aplicación IP Webcam se pudo vincular la cámara con el software Matlab.



Figura 11: Captura de la imagen del espárrago

Para el procesamiento de la imagen, se realizó el siguiente procedimiento: la conversión a la escala de grises, filtrado digital, dilatación, segmentación, detección de bordes y rellenado de

la imagen, como se observa en la figura 12, esto con el fin de extraer características de tamaño del espárrago para su posterior clasificación.



Figura 12: Imagen binarizada del espárrago

Para la extracción de características se utiliza el comando “regionprops” de Matlab la cual nos brinda los descriptores de tamaño, que en este caso son el área, el perímetro, la longitud de eje mayor y menor.

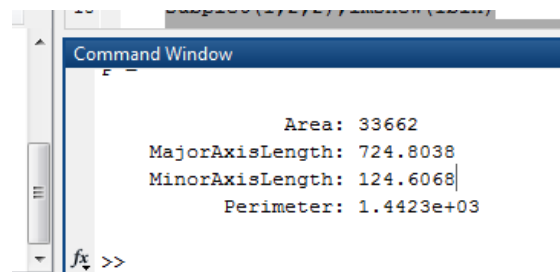


Figura 13: Características de tamaño de la imagen del espárrago

Con los valores de las características de tamaño de los espárragos, se crea la matriz de entrada para la red neuronal. La matriz es de orden 40x4 debido a que son 40 muestras en total y 4 descriptores de tamaño.

Tabla 2: Valores de las características de tamaño

	Descriptores de tamaño			
	Area	Longitud del eje mayor	Longitud del eje menor	Perimetro
Esparrago grande 1	79557	1186	108.2312	2199
Esparrago grande 2	73378	1142.6	104.8155	2128.1
Esparrago grande 3	71123	1124	104.1574	2083.2
Esparrago grande 4	83140	1210.30	114.3282	2247.6
Esparrago grande 5	81618	1200.9	112.8053	2253
Esparrago grande 6	76786	1168.1	109.7707	2301.6
Esparrago grande 7	63981	1116.4	94.2109	2127.5
Esparrago grande 8	67949	1198.7	97.5168	2591
Esparrago grande 9	64754	1146.7	96.2469	2197.5
Esparrago grande 10	63423	1124.90	93.2007	2165.6
Esparrago grande 11	70687	1119.7	103.1128	2106.8
Esparrago grande 12	65487	1154.2	98.1487	2157.2
Esparrago grande 13	67584	1189.6	101.5184	2098.7
Esparrago grande 14	75489	1125.3	95.5478	2047.6
Esparrago grande 15	73095	1134.5	98.5861	2067.8
Esparrago grande 16	79841	1199.6	102.3245	2445.4
Esparrago grande 17	76414	1153.4	107.5435	2314.2
Esparrago grande 18	80243	1167.5	106.3218	2264.7
Esparrago grande 19	69441	1124.4	105.2491	2232.1
Esparrago grande 20	72841	1132.3	102.4125	2201.4
Esparrago pequeño 1	32181	969.8	53.0554	1783.7
Esparrago pequeño 2	36969	1012.4	56.6546	1911.8
Esparrago pequeño 3	33289	992.7	54.4333	1819.3
Esparrago pequeño 4	33606	991.3	54.1446	1810.6
Esparrago pequeño 5	34346	996.1	54.7136	1861.3
Esparrago pequeño 6	28757	902.2	53.4974	1862.7
Esparrago pequeño 7	28509	905.6	62.538	1888.9
Esparrago pequeño 8	32761	937.4	68.0726	1707.8
Esparrago pequeño 9	36423	970.6	72.2695	1768.7
Esparrago pequeño 10	36151	960.4	82.0815	1759.4
Esparrago pequeño 11	36269	1031.9	59.7536	1867.6
Esparrago pequeño 12	31042	950.3	54.3219	1784.5
Esparrago pequeño 13	37424	978.9	64.4215	1802.3
Esparrago pequeño 14	39419	985.3	67.4812	1805.4
Esparrago pequeño 15	35031	941.4	63.2381	1807.2
Esparrago pequeño 16	36512	985.4	59.3219	1767.1
Esparrago pequeño 17	35576	974.1	62.2547	1812.8
Esparrago pequeño 18	32471	955.8	63.4512	1798.3
Esparrago pequeño 19	34218	969.3	61.5871	1765.5
Esparrago pequeño 20	37541	987.2	75.2845	1856.2

Para la creación de la red neuronal se utilizó el comando “nprtool” de Matlab, la arquitectura de la red neuronal (ver Figura 9) cuenta con 4 neuronas de entrada debido a los 4 descriptores de tamaño que se han utilizado, 10 neuronas en la capa oculta y 1 neurona de salida debido a que se clasificaron los espárragos en 2 clases (bajo y alto calibre).

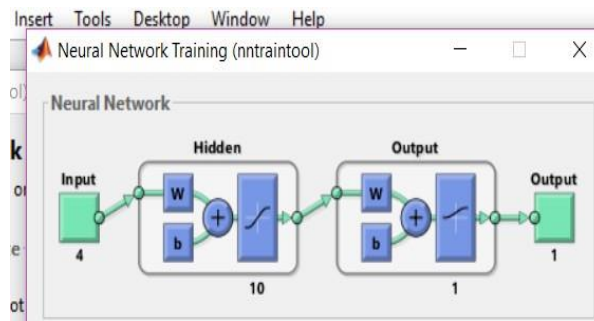


Figura 14: Arquitectura de la red neuronal artificial

En la imagen se muestra los resultados del entrenamiento de la red neuronal mediante la matriz de confusión la cual nos indica que el porcentaje de acierto de la red es del 97.5%.

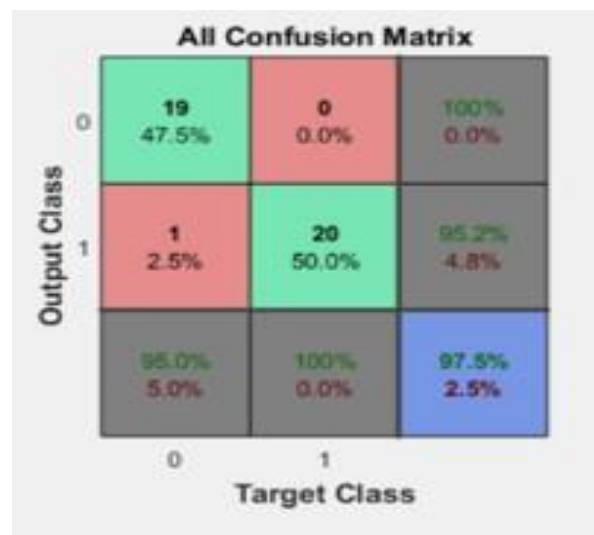


Figura 15: Matriz de confusión de la red neuronal artificial

CONCLUSIONES

El porcentaje de acierto de la red neuronal artificial es del 97.5% esto confirma que la clasificación de espárragos mediante un sistema robótico con inteligencia artificial es una solución eficaz a la clasificación rudimentaria que existe en algunas empresas.

El sistema robótico con inteligencia artificial para la clasificación automatizada de espárragos es una alternativa de solución factible que se puede aplicar a las empresas agroexportadoras de espárragos, como por ejemplo Greenland Perú, que requieren dicha tecnología con el fin de aumentar su productividad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Evolución de las exportaciones e importaciones. Julio 2018.
- [2]. J. Delgado. "Sistema de Visión Artificial para determinar el Estado de Recolección del Fruto del Árbol Azadirachta Indica", tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia. 2010.
- [3]. G. Bayona, et al. "Planteamiento estratégico de la industria peruana del espárrago", tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú. 2017.
- [4]. R. Gonzales y R. Woods. Tratamiento Digital de Imágenes. Addison-Wesley. 1994.
- [5]. G. Blanchet y M. Charbit. Digital Signal and Image Processing using MATLAB. ISTE Ltd. 2006.
- [6]. L. Galvis, et al. Tratamiento digital de imágenes e inteligencia artificial aplicados a la perforación de pozos petroleros, Revista Fuentes: El Reventón Energético vol. 9, pp 21-31. 2011.
- [7]. B. Pedraza, et al. Sistema de reconocimiento facial basado en imágenes con color, UIS Ingenierías, vol. 10, No. 2, pp. 113-122. 2011.
- [8]. E. Gopi. Algorithm Collections for Digital Signal Processing Applications Using Matlab. Springer. 2007.
- [9]. P. Isasi y I. Galván. Redes de neuronas artificiales. Un enfoque práctico. Madrid: Prentice Hall. 2004.
- [10]. S. Haykin. Redes neurais: principios e práctica. Bookman, 900. 2001.
- [11]. A. Moya. Detección automática de nuevas construcciones a partir de ortofotos. Universidad de Valencia, España. 2012.
- [12]. X. Basogain. Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela Superior de Ingeniería Bilbao. País Vasco. 2008.

- [13]. G. Salazar y O. Sandoval. Sistema Teledirigido de un Brazo Robótico de 4 Grados de Libertad aplicando Visión de Máquina. *Revista EIA*, 12(24), 121-129. 2015.
- [14]. A.R Acero, A.M. Cano y J.A. Builes. Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy. *Revista UIS Ingenierías*. 21-31. 2015
- [15]. G.I. Viera Maza. Procesamiento de imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del cacao, tesis de grado. Universidad de Piura. 2017.
- [16]. C. García, M. Astorti, A. Mirasso y M. Tornello. Ponderación de calidad en frutas usando técnicas de visión artificial para la estimación de daños. *Mecánica Computacional*. 32. 2473-2484. 2013.
- [17]. H. Froilan y V. Huerta. Redes neuronales para el reconocimiento de la calidad morfológica de mangos exportables para la empresa Biofruit del Perú S.A.C., tesis doctoral. Universidad Fedecico Villareal. Perú. 2011
- [18]. E. Sobrado y Tafur. Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot, tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. 2003.
- [19]. P. Contreras, C. Peña y C. Riaño. Módulo robótico para la clasificación de lulos. *Revista INGE CUC*, Vol. 10, N°1, pp. 51-62. 2014

ANEXO 2:

GLOSARIO

Visión artificial: Parte de la inteligencia artificial que proporciona métodos de adquisición y procesamiento de datos que sirven para su análisis en una computadora.

Sistema robótico: Conjunto de dispositivos con los que trabaja un robot, compuesto por 3 subsistemas: sensorial, de accionamiento y de control.

Redes neuronales: Es un modelo computacional-matemático que emula el actuar de las neuronas biológicas en el cerebro.

Procesamiento de imágenes: Conjunto de técnicas que se aplican a una imagen para conseguir una nueva imagen “mejorada” con la cual se pueda trabajar ciertas características deseadas.

ANEXO 3:
FICHA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD: Facultad de Ingeniería de Sistemas y Electrónica

CARRERA: Ingeniería Mecatrónica

1. Título del Trabajo de Investigación propuesto

Diseño de un sistema robótico para la clasificación automatizada de espárragos empleando visión artificial por imágenes

2. Indica la o las competencias del modelo del egresado que serán desarrolladas fundamentalmente con este Trabajo de Investigación:

3. Número de alumnos a participar en este trabajo. (máximo 2)

Número de alumnos: 2

4. Indica si el trabajo tiene perspectivas de continuidad, después de obtenerse el Grado Académico de Bachiller, para seguirlo desarrollando para la titulación por la modalidad de Tesis o no.

Si tiene perspectiva de continuidad.

5. Enuncia 4 o 5 palabras claves que le permitan realizar la búsqueda de información para el Trabajo en Revistas Indizadas en WOS, SCOPUS, EBSCO, SciELO, etc., desde el comienzo del curso y obtener así información de otras fuentes especializadas.

Ejemplo:

Palabras Claves	REPOSITORIO 1	REPOSITORIO 2	REPOSITORIO 3
1.-Sistema robòtico			
2.-Visiòn artificial			
3.-Clasificaciòn			
4.-Espàrragos			
5.-			

6. Como futuro asesor de investigación para titulación colocar:

(Indique sus datos personales)

- a. Nombre: Paul Àngel Montoya Tufinio
- b. Código docente: 15074
- c. Correo institucional: d15074@idat.edu.pe
- d. Teléfono:

7. Especifica si el Trabajo de Investigación:

(Marca con un círculo la que corresponde, puede ser más de una)

- a. Contribuye a un trabajo de investigación de una Maestría o un doctorado de algún profesor de la UTP.
- ☒ b. Está dirigido a resolver algún problema o necesidad propia de la organización.
- c. Forma parte de un contrato de servicio a terceros.
- d. Corresponde a otro tipo de necesidad o causa (explicar el detalle):

8. Explica de forma clara y comprensible los objetivos o propósitos del trabajo de investigación

El objetivo es diseñar un clasificador automatizado de espárragos que permita mejorar este proceso de selección en la industria de exportación de dicha hortaliza.

9. Brinde una primera estructuración de las acciones específicas que debe realizar el alumno para que le permita iniciar organizadamente su trabajo

A) hacer un cronograma de desarrollo de las actividades

B) Buscar fuentes de información

C) Analizar detalladamente cada fuente encontrada

D) Jerarquizar cada fuente de mayor a menor relevancia

E) Empezar con la redacción

10. Incorpora todas las observaciones y recomendaciones que consideres de utilidad para el alumno y a los profesores del curso con el fin de que desarrollen con éxito todas las actividades

Una recomendación para los alumnos es que sigan al pie de la letra el cronograma de actividades y a los profesores es que empleen la misma metodología a largo del curso.

En cuanto a las observaciones cabe resaltar que para lograr un buen trabajo de investigación se requiere del seguimiento personalizado para cada estudiante por parte de un profesor especialista en materia como también apoyo económico de parte de la universidad en caso se llegue a implementar el diseño del trabajo de investigación.

11. Fecha y docente que propone la tarea de investigación

Fecha de elaboración de ficha (día/mes/año): / /

Docente que propone la tarea de investigación:

Paul Àngel Montoya Tufinio

12. Esta Ficha de Tarea de Investigación ha sido aprobada como Tarea de Investigación para el Grado de Bachiller en esta carrera por:

(Sólo para ser llenada por la Facultad)

Nombre:

Código:

Cargo:

Fecha de aprobación de ficha (día/mes/año): / /